

# 1例电击伤截肢患者的有创和无创血压分析并文献复习

朱玉玲, 蒋琪霞

(中国人民解放军东部战区总医院 烧伤整形科, 江苏 南京, 210002)

**摘要:** 电击伤是常见的创伤之一, 伴随高压电流通过身体, 通常有一个入口, 多个出口, 容易出现毁损性损伤、严重的创伤后应激反应及继发感染, 病情变化快。血压监测是准确、及时判断病情的常用方法。本文分析对比1例高压电击伤后双上肢、右下肢截肢患者的有创血压(IBP)无创血压(NBP)监测结果, 并通过文献复习, 总结讨论IBP、NBP监测之间差异性, 为临床有效监测重症创伤患者血压提供参考。

**关键词:** 电击伤; 有创血压; 无创血压; 文献复习

## Analysis and literature review of invasive and noninvasive blood pressure in a case of electrical injury leading to amputation

ZHU Yuling, JIANG Qixia

(Department of Burn and Plastic Surgery, Eastern Theater General Hospital of the Chinese People's Liberation Army, Nanjing, Jiangsu, 210002)

**ABSTRACT:** Electric injury is one of the common injuries, accompanied by passage of high-voltage current through the body, usually with one entrance and multiple outlets. It easily leads to destructive injury, severe post-traumatic stress response and secondary infection, and the condition changes rapidly. Blood pressure monitoring is a common method to accurately and timely determine the condition. This article analyzed and compared the results of invasive and noninvasive blood pressure monitoring in a patient with bilateral upper limb and right lower limb amputation after high-voltage electrical injury, and summarized and discussed the differences between invasive and noninvasive blood pressure monitoring through literature review, providing references for clinical effective monitoring of blood pressure in patients with severe trauma.

**KEY WORDS:** electric injury; invasive blood pressure; noninvasive blood pressure; literature review

高压电击伤(电流>1000V),是烧伤外科常见的高截肢致残率(30.2%)和死亡率(5.2%)<sup>[1]</sup>的危重创伤,以四肢创伤发生率最高<sup>[2]</sup>。表现包括电流入口及出口严重组织毁损伤;Ⅱ度及以上烧伤;电流经过血管带来的血管壁受损致动脉大出血及心脏骤停;肌细胞破坏后肌红蛋白堵塞肾小管引起的急性肾损伤等<sup>[3]</sup>。该类患者病情变化快,由于休克时血容量评估、血管壁受损等需要,对血压监测要求高。本科

室2020年6月20日—8月6日成功救治1例全身50%深Ⅱ度~Ⅲ度高压电击伤,其中双上肢及右下肢严重毁损伤,继发动脉损伤大出血、先后截除右下肢、左右上肢的患者。该患者因四肢创伤给血压监测带来极大困难,先后采用了无创血压(NBP)和有创血压(IBP)测量法,本文分析患者在救治过程中IBP、NBP监测结果,并结合文献复习讨论差异性,现报告如下。

基金项目:军队卫勤保障能力创新与生长专项课题(20WQ027)

通信作者:蒋琪霞, E-mail: Jiangqixia1963@163.com



## 1 临床资料

患者男性,27岁,因“20 000 V 高压电击伤后5天余”入院,入院评估:双上肢和右下肢组织毁损严重、组织发黑坏死,臀背部及左下肢散在深Ⅱ度~Ⅲ度烧伤,面积约50%TBSA(体表面积)。入院后因并发急性肺水肿、严重低氧血症和急性肾功能不全、无尿,紧急给予气管切开呼吸机辅助呼吸、床边连续肾脏替代疗法(CRRT)、床边心电监护仪监测右上肢NBP、呼吸、心率、脉氧。入院第2天,急诊实施右小腿+左前臂截肢手术、右上肢清创保肢治疗,并给予左足背动脉置管行IBP监测。置管后IBP持续波动170~220 mmHg/60~114 mmHg,遵医嘱静脉泵入硝普纳、口服硝苯地平缓释片等处理,降压效果均不明显。为此,同时进行右上肢NBP监测,结合IBP监测结果,为医生使用降压药及病情观察提供参考依据。

3 d后,因右前臂严重组织毁损伤采用清创后敷料包扎影响NBP监测被迫终止,只能采用仅存的左下肢足背动脉行IBP监测。入院20 d,患者突发右前臂桡动脉破裂大出血,危及生命,紧急行右前臂截肢术。经过救治,患者转危为安,各项生命体征平稳,伤口愈合良好,于住院47 d后出院。出院后每3个月电话随访居家NBP监测结果、指导创面保护和康复锻炼方法,了解、指导安装义肢后的活动及生活自理方法等。1年随访结果:截肢后创面愈合良好,电子血压计获得右上肢NBP监测结果波动115~130/60~85 mmHg。双手及右下肢于出院后3个月安装义肢,适应良好,在家人协助下能够自理生活,并回归工作。

## 2 方法

### 2.1 血压监测难点

NBP常用部位为上臂中段,无法监测上肢血压时,最新专家共识指出可选择踝部测量下肢血压<sup>[4]</sup>。本例患者双前臂因高压电击导致毁损性损伤,入院后第2 d左上肢截肢至肘关节下5 cm,右下肢截肢至膝下10 cm,右上肢毁损集中于前臂及手部,伤及桡动脉;左下肢创伤集中在小腿,伤及踝部呈深Ⅱ度~Ⅲ度烧伤,伤后肿胀明显,对右上肢和左下肢暂行保肢治疗。在此情况下,选择足背监测动脉压,而结果显示收缩压异常增高,增高的原因医护讨论和文献查询均无结论。为此,选择右上臂肱动脉无创监测血压,分析比较两者

之间的差异性和可能的原因,探索其中的规律。

### 2.2 血压监测方法

NBP和IBP监测均采用心电监护仪PHILIPS G60同期进行,体位采用仰卧位,监测时间均为每小时1次,记录有创收缩压、有创舒张压、无创收缩压和无创舒张压。①NBP测量方法:测量部位选取右上肢肱动脉,确保袖带与有创压力传感器位于同一水平面,防止出现静态压力差。测量时袖带下缘置于肘窝上2.5 cm,气囊宽度需覆盖上臂长的37%~50%,长度达到上臂周长的75%~100%<sup>[5]</sup>。②IBP测量方法:穿刺点位于左足背动脉,用普通肝素12500 U入500 mL袋装生理盐水,置于加压输液袋中,采用人工气囊充气方式保持压力值在300 mmHg<sup>[6]</sup>,压力传感器固定高度与腋中线第四肋间一致,平右心房,接近主动脉根水平<sup>[7]</sup>。当患者体位改变时需随时调整传感器高度,避免造成测量误差<sup>[8]</sup>。动脉压调零方法:零线必须完全充满液体,调零时人员不接触床体,避免人体对仪器产生干扰。压力传感器旋塞调向空气端,同时激活监视器上的调零功能。当追踪血压在0 mmHg压力下的零线时,调零成功。随后将压力传感器的旋塞与大气关闭,测量期间不再需要进一步的调零操作。③两组血压监测期间,患者未使用血管活性药物。

### 2.3 其他数据监测

采用PHILIPS G60心电监护仪每小时监测1次脉氧、心率;水银体温计测量体温,4 h/次。体温超过38.5℃给予冰袋物理降温。

### 2.4 监测结果

采用SPSS 23.0软件。计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,按创伤时间顺序重复测量的计量资料采用重复测量方法分析,IBP和NBP总体计量资料比较采用配对样本 $t$ 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。IBP测量5 d,同期NBP监测3 d,所获结果如表1所示。IBP和NBP配对 $t$ 检验结果见表2。

## 3 讨论

本例患者无既往史,高血压史,高压电击伤后病情重,IBP监测部位在下肢足背动脉,非临床常见测量部位。分析IBP与NBP差异可能与患者疾病状态及血压测量部位有关,为此查阅不同人群及不同测量方法间IBP与NBP间差异,以帮助分析本文患者出现差异性的可能原因。



表1 不同监测时间IBP与NBP分析

血压组别	监测时间与血压值			<i>F</i>	<i>P</i>
	第1天	第2天	第3天		
有创收缩压	160.25±14.81	161.25±15.83	158.20±23.84	10.747	<0.001
有创舒张压	74.06±5.18	77.50±4.58	73.53±6.23	15.290	<0.001
无创收缩压	121.12±4.79	122.38±5.07	121.57±3.41	0.340	0.713
无创舒张压	72.44±5.10	72.92±4.33	75.86±4.41	1.422	0.252

表2 IBP与NBP差值比较( $\bar{x} \pm s$ ) mmHg

组别	<i>n</i>	收缩压	舒张压
IBP	47	161.15±15.71	76.55±5.03
NBP	47	121.83±4.71	73.19±4.66
<i>t</i>		18.328	3.729
<i>P</i>		<0.001	<0.001

### 3.1 高压电击伤患者IBP与NBP间差异分析

本文高压电击伤截肢后,有创足背动脉与对侧无创肱动脉之间47组配对的血压数据中,可以看出IBP与NBP之间有明显的正相关性,有创收缩压与无创收缩压之间比较,差异具有统计学意义[(161.15±15.71) mmHg vs. (121.83±4.71) mmHg,  $t=18.328$ ,  $P<0.001$ ];有创舒张压和无创舒张压之间比较,差异具有统计学意义[(76.55±5.03) mmHg vs. (76.55±5.03) mmHg,  $t=3.729$ ,  $P<0.001$ ]。数据说明,两种测量方式血压差异明显,并且收缩压的差异明显大于舒张压,有创与无创收缩压差值平均值为39.32 mmHg。

### 3.2 不同人群IBP、NBP差异

范勇等<sup>[9]</sup>、程卫等<sup>[10]</sup>、韩锋等<sup>[11]</sup>和周洁等<sup>[8]</sup>对危重症患者进行了IBP和NBP的对比,均指出重症患者IBP与NBP之间存在差异,偏差大小与血压高低显著相关。范勇等<sup>[9]</sup>基于大样本重症监护数据库MIMIC-III,提取了11671例患者同时测量的226093对NBP和IBP测量数据,得出IBP与NBP之间差异与各年龄段之间无显著差异,两者之间整体呈线性偏差。两者偏差随着血压值偏离正常范围而呈现增大趋势,在收缩压小于100 mmHg区域,NBP高于IBP,而在约大于100 mmHg区域,NBP低于IBP。贾玉凤等<sup>[12]</sup>以仰卧体位下进行下肢骨折和下腹部剖腹探查113例择期手术患者为研究对象,同样指出IBP与NBP的这一翻转(倒置)变化规律,并具体指出临界值范围,其翻转临界值为(95.34±6.47) mmHg。有创、无创收缩压差值范围值为-3.625~16.67 mmHg,而有创、无创舒张压差值范围值始终为负数,与本文结果不同点在于,本文数据中有创、无创舒张压差值范围值始终为正数。舒张压的差异与本文案例结果相同的张鑫等<sup>[13]</sup>对ICU入住的不同重症患者

32例进行IBP与NBP监测值相关性分析,得出有创收缩压与舒张压均高于NBP收缩压与舒张压差值( $t=15.301/3.363$  mmHg)。所以,重症患者中,当患者血压值高于一定临界值时,IBP大于NBP,以两者收缩压差之间差异值更为明显。

在高血压和休克患者两者之间,经过Meta分析,王宇娇等<sup>[14]</sup>同样得出,休克低血压患者其无创收缩压测量结果高于有创,高血压患者其无创收缩压低于有创。对于高血压患者,有创收缩压明显高于无创,且血压越高,两者差异越大,舒张压之间结果无统计学意义。考虑重症患者出现有创与无创收缩压之间差异较大,可能与重症患者疾病病程变化有关。贾玉凤等<sup>[12]</sup>在文献中提出,当患者血液灌注充盈,心脏搏动的动能通过血流传导直接正对动脉导管开口,转化为压强,高于血液对血管壁的侧压(袖带测压值)。这一观点,解释了重症患者及本文高压电击伤后创伤后应激反应高血状态。有趣的是,高万露等<sup>[15]</sup>在拟行神经外科择期手术的24例患者中,利用全麻手术,消除患者精神紧张后,获得足背IBP明显低于踝部胫后动脉NBP,也同样指出血压翻转变化规律:收缩压在90~140 mmHg时,有创与无创舒张压平均偏差(-4.9 mmHg),在收缩压≤90 mmHg时,有创与无创张压平均偏差(-10.3 mmHg)。分析文中IBP低于NBP这一结果,可能与文中择手术期患者病情平稳及血压获得部位均在下肢有关。那么,血压的获得,尤其是IBP与NBP在不同部位之间,会有怎样的差异,这值得进一步探讨。

### 3.3 不同测量部位IBP、NBP差异

文献中,IBP与NBP测量部位,常见为上肢肱动脉NBP,及桡动脉IBP。韩锋等<sup>[11]</sup>、程卫等<sup>[10]</sup>、贾玉凤等<sup>[12]</sup>、张鑫等<sup>[13]</sup>均对桡动脉IBP,及上肢肱动脉NBP进行数据收集,高血压组患者有创收缩压均结果均高于无创收缩压,差值确存在一定差异。韩锋等<sup>[11]</sup>在102例危重病患者尺/桡动脉和同侧上臂肱动脉中获得IBP与NBP共1072对数据,结果指出有创收缩压大于无创收缩压、有创舒张压小于无创舒张压,指出可能与样本量及低血



压组血管活性药物使用有关,血压变化未指出有翻转现象。同样是重症患者桡动脉及肱动脉IBP及NBP进行对比,程卫等<sup>[10]</sup>收集重症医学科197名患者桡动脉IBP及同侧肱动脉NBP,得到未应用血管活性药物的非休克患者有创收缩压和无创收缩压的测量偏差显著高于应用血管活性药物的休克患者,有创与无创收缩压测量偏差最大可达37.8 mmHg,有创收缩压 $\geq 143$  mmHg,有创收缩压与无创收缩压偏差 $\geq 20$  mmHg,结果与本文案例有相似之处。韩峰等<sup>[11]</sup>与程卫等<sup>[10]</sup>在文献中同样的测量部位,但结果却差异较大,分析两篇文献,不同之处除了患者疾病本身之间存在差异,血管活性药物是否使用也存在差异。显然,IBP与NBP之间,测量部位不是唯一影响因素。

同样是上肢,有创与无创收缩压血压之间尚且存在如此显著差异,关于下肢有创与上肢无创之间血压差异,周洁等<sup>[8]</sup>收集了神经外科术后重症患者61例3977组IBP、NBP进行配对监测。其中,足背有创收缩压与肱动脉无创收缩压间比较 $[(183.69 \pm 38.77) \text{ mmHg vs. } (137.97 \pm 20.67) \text{ mmHg}, t=48.230, P<0.01]$ ;足背有创舒张压与肱动脉无创舒张压间比较 $[(77.85 \pm 16.03) \text{ mmHg vs. } (85.11 \pm 14.44) \text{ mmHg}, t=15.606, P<0.01]$ 。与本文案例中IBP与NBP在上肢与下肢之间收缩压差异显著这一现象相同。考虑这一现象的发生,可能与足背动脉及桡动脉虽都为同级周围动脉,但是足背动脉与心脏距离较桡动脉远,且足背动脉随远端管径变小,而桡动脉管径大小无此变化。而同样是足背动脉IBP,在与同侧踝部胫后动脉NBP间对比,高万露等<sup>[15]</sup>却得到了IBP明显低于NBP。这一结果,与上肢中有创桡动脉与无创肱动脉之间比较结果存在明显差异。考虑可能与案例中患者疾病、择期手术病情稳定、全麻手术中麻醉用药等有关。本文患者BMI  $30.42 \text{ kg/m}^2$ ,属于肥胖且四肢粗壮,尤其是下肢,呈明显“锥形”,下肢粗壮带来袖带不足会导致错误的高血压读数<sup>[16]</sup>。为此,未能对患者进行同侧下肢足背动脉IBP与同侧踝部胫后动脉NBP间对比。

当IBP与NBP获取部位在上肢与下肢之间,差异是存在的。那么,对不肢体同侧与对侧,IBP与NBP之间差异比较,Wax等<sup>[17]</sup>在24225例电子麻醉记录中同时测量IBP、NBP实验表明,当IBP和NBP测量位于同侧或对侧,关系并没有随着时

间的推移发生显著变化,血压值不与左右测量位置不同而有显著差异。所以,不同测量部位,IBP与NBP之间存在差异,上肢与下肢差异明显,同侧与对侧肢体没有显著差异,同样表现在有创、无创收缩压差异更为明显。

血压是最常测量的生命体征之一,尤其是重症监护病房(ICU)<sup>[18]</sup>,可以无创或有创测量<sup>[19]</sup>。高压电击伤及截肢患者由于血压获得困难,该类患者IBP与NBP之间对比未见相关报道,然而本例患者IBP与NBP之间存在的差异,给临床观察和治疗带来困扰,已有文献报告的结果中两者之间差异也各不相同。因此,有必要探明两者之间的关系。本研究提示,IBP及NBP监测时,应同时结合患者其他生命体征结果、病情变化、主诉等辅助临床治疗。不能单纯的将IBP与NBP进行相互替代来指导临床治疗及护理。结合文献分析,IBP与NBP之间差异是存在的,其中收缩压表现更为显著,两者之间差值在 $-3.625 \sim 48.23$  mmHg,这一差值,值得临床引起重视。引起两者之间差异的因素总结有:疾病、不同测量部位、应激状态、休克、血管活性药物、麻醉用药等。IBP与NBP之间主要影响因素、差异值以及正确解读IBP、NBP之间差异代表的临床意义,需要临床进一步探索研究。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

## 参考文献

- [1] SHIH J G, SHAHROKHI S, JESCHKE M G. Review of adult electrical burn injury outcomes worldwide: an analysis of low-voltage vs high-voltage electrical injury[J]. *J Burn Care Res*, 2017, 38(1): e293-e298.
- [2] 贺竹梅,任改璞. 127例电击伤患者的急救护理和调查分析[J]. *中国急救复苏与灾害医学杂志*, 2014, 9(12): 1164-1165.  
HE Z M, REN G Y. Emergency nursing and investigation of 27 patients with electric injury[J]. *China J Emerg Resusc Disaster Med*, 2014, 9(12): 1164-1165. (in Chinese)
- [3] LI H S. Wound management and outcome of 595 electrical burns in a major burn center[J]. *J Surg Res*, 2017, 214: 182-189.
- [4] 中华医学会心血管病学分会高血压学组, 中华心血管病杂志编辑委员会. 成人四肢血压测量的中国专家共识[J]. *中华心血管病杂志*, 2021, 49(10): 963-971.  
HYPERTENSION GROUP CHINESE SOCIETY



- OF CARDIOLOGY CHINESE MEDICAL ASSOCIATION, EDITORIAL BOARD OF CHINESE JOURNAL OF CARDIOLOGY. Chinese expert consensus on the four-limb blood pressure measurement in adults[J]. Chin J Cardiol, 2021, 49(10): 963–971. (in Chinese)
- [5] STERGIOU G S, ALPERT B, MIEKE S, et al. A universal standard for the validation of blood pressure measuring devices: association for the Advancement of Medical Instrumentation/European Society of Hypertension/International Organization for Standardization (AAMI/ESH/ISO) Collaboration Statement[J]. J Hypertens, 2018, 36(3): 472–478.
- [6] SAUGEL B, KOUZ K, MEIDERT A S, et al. How to measure blood pressure using an arterial catheter: a systematic 5-step approach[J]. Crit Care, 2020, 24(1): 172.
- [7] ORTEGA R, CONNOR C, KOTOVA F, et al. Use of pressure transducers[J]. N Engl J. Med., 2017, 376(14): e26.
- [8] 周洁, 孙蔚宇, 潘智勇, 等. 神经外科重症患者有创与无创血压监测比较研究[J]. 护理学杂志, 2015, 30(22): 20–23.
- ZHOU J, SUN W Y, PAN Z Y, et al. Comparison of invasive intra-arterial and non-invasive arterial pressure measurements in neurosurgical intensive care patients[J]. J Nurs Sci, 2015, 30(22): 20–23. (in Chinese)
- [9] 范勇, 李沛尧, 张楠, 等. 基于大样本重症监护数据库MIMIC-III的无创和有创血压测量一致性研究[J]. 北京生物医学工程, 2018, 37(2): 122–129.
- FAN Y, LI P Y, ZHANG N, et al. Study on the consistency between non-invasive and invasive blood pressure measurements based on MIMIC-III multi-parameter intensive care database[J]. Beijing Biomed Eng, 2018, 37(2): 122–129. (in Chinese)
- [10] 程卫, 何怀武, 刘大为, 等. 重症患者有创血压与无创血压测量的比较[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(37): 3005–3008.
- CHENG W, HE H W, LIU D W, et al. Comparison of invasive and non-invasive blood pressure in critically ill patients[J]. Natl Med J China, 2018, 98(37): 3005–3008. (in Chinese)
- [11] 韩锋, 张静静, 骆艳妮, 等. 102例危重病患者有创血压和无创血压的对比[J]. 中华重症医学电子杂志(网络版), 2019, 5(1): 15–19.
- HAN F, ZHANG J J, LUO Y N, et al. Comparative study on the differences between noninvasive and invasive blood pressure in 102 critical patients[J]. Chin J Crit Care & Intensive Care Med Electron Ed, 2019, 5(1): 15–19. (in Chinese)
- [12] 贾玉凤, 费建平, 陈伟官. 有创血压与无创血压监测效果的分段分析[J]. 护理研究, 2019, 33(20): 3568–3571.
- JIA Y F, FEI J P, CHEN W G. Subsection analysis of monitoring effect between invasive arterial blood pressure and noninvasive blood pressure[J]. Chin Nurs Res, 2019, 33(20): 3568–3571. (in Chinese)
- [13] 张鑫, 皮红英. 有创血压监测值与无创血压监测值相关性分析[J]. 中华现代护理杂志, 2013, 19(11): 1275–1277.
- ZHANG X, PI H Y. Analysis of linear relationship between invasive and non-invasive blood pressure[J]. Chin J Mod Nurs, 2013, 19(11): 1275–1277. (in Chinese)
- [14] 王宇娇, 高岚, 孙士艳, 等. 高血压及休克患者有创与无创血压差异性的Meta分析[J]. 中华现代护理杂志, 2015(33): 4014–4016.
- WANG Y J, GAO L, SUN S Y, et al. Differences analysis of invasive and non-invasive blood pressure in patients with hypertension and stroke: a Meta analysis[J]. Mod Nurs, 2015(33): 4014–4016. (in Chinese)
- [15] 高万露, 汪小海. 全麻手术患者围术期下肢有创血压与无创血压的相关性分析[J]. 临床麻醉学杂志, 2015, 31(2): 164–166.
- GAO W L, WANG X H. Comparison of non-invasive and invasive blood pressure in lower limbs[J]. J Clin Anesthesiol, 2015, 31(2): 164–166. (in Chinese)
- [16] ELEY V A, CHRISTENSEN R, GUY L, et al. Perioperative blood pressure monitoring in patients with obesity[J]. Anesth Analg, 2019, 128(3): 484–491.
- [17] WAX D B, LIN H M, LEIBOWITZ A B. Invasive and concomitant noninvasive intraoperative blood pressure monitoring: observed differences in measurements and associated therapeutic interventions[J]. Anesthesiology, 2011, 115(5): 973–978.
- [18] CECCONI M, DE BACKER D, ANTONELLI M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring[J]. Intensive Care Med, 2014, 40(12): 1795–1815.
- [19] SAUGEL B, et al. Measurement of blood pressure[J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2014, 28(4): 309–322.